

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number :

2002-091574

(43) Date of publication of application : 29.03.2002

(51) Int.Cl.

G05D 23/19

F27B 5/18

F27D 19/00

H01L 21/205

H01L 21/22

(21) Application number : 2000-278526

(71) Applicant : TOKYO ELECTRON LTD

(22) Date of filing : 13.09.2000

(72) Inventor : O BUNRYO

SAKAMOTO KOICHI

SUZUKI FUJIO

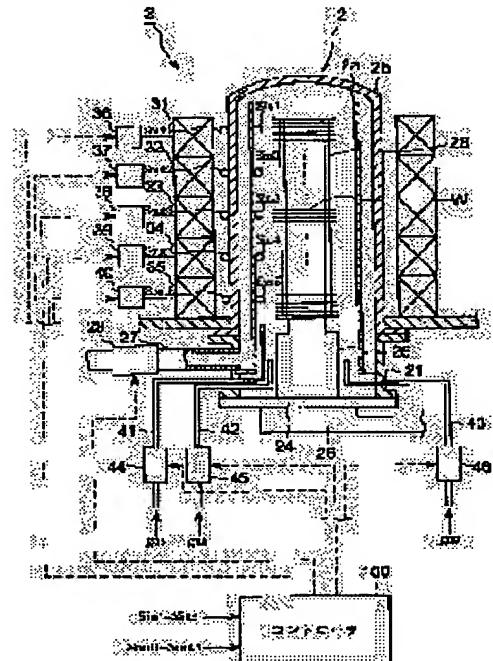
YASUHARA MOYURU

(54) BATCH TYPE HEAT TREATMENT EQUIPMENT AND ITS CONTROL METHOD

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To estimate an accurate temperature for a heat treatment equipment by estimating the temperature of a substance to be treated in order to perform the heat treatment of the substance.

SOLUTION: A reactive pipe 2 is provided with heaters 31-35, temperature sensors Sin1-Sin5 and Sout1-Sout5 and houses a wafer boat 23. A control part 100 estimates the temperatures of wafers W of five zones corresponding to the heaters 31-35 of the pipe 2 and also the temperatures of sensors Sin1-Sin5 by means of the electric power of the sensors Sin1-Sin5, Sout1-Sout5 and the heaters 31-35. The functions f1-f5 showing the relation between the estimated temperature and actual temperature of every zone are calculated from the relation of estimated and actual temperatures among sensors Sin1-Sin5. The estimated wafer temperatures are substituted for the functions f1-f5 for correcting the wafer temperatures. The electric power supplied to the heaters 31-35 are individually controlled so that the corrected wafer temperatures are converged on a target temperature track.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-91574

(P2002-91574A)

(43)公開日 平成14年3月29日 (2002.3.29)

(51)Int.Cl.⁷
G 0 5 D 23/19
F 2 7 B 5/18
F 2 7 D 19/00
H 0 1 L 21/205
21/22

識別記号
5 1 1

F I
G 0 5 D 23/19
F 2 7 B 5/18
F 2 7 D 19/00
H 0 1 L 21/205
21/22

テマコート(参考)
J 4 K 0 5 6
4 K 0 6 1
A 5 F 0 4 5
5 H 3 2 3
5 1 1 A

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 10 頁)

(21)出願番号 特願2000-278526(P2000-278526)

(22)出願日 平成12年9月13日 (2000.9.13)

(71)出願人 000219967

東京エレクトロン株式会社
東京都港区赤坂5丁目3番6号

(72)発明者 王 文陵

神奈川県津久井郡城山町町屋1丁目2番41
号 東京エレクトロン東北株式会社相模事
業所内

(72)発明者 坂本 浩一

神奈川県津久井郡城山町町屋1丁目2番41
号 東京エレクトロン東北株式会社相模事
業所内

(74)代理人 100095407

弁理士 木村 满

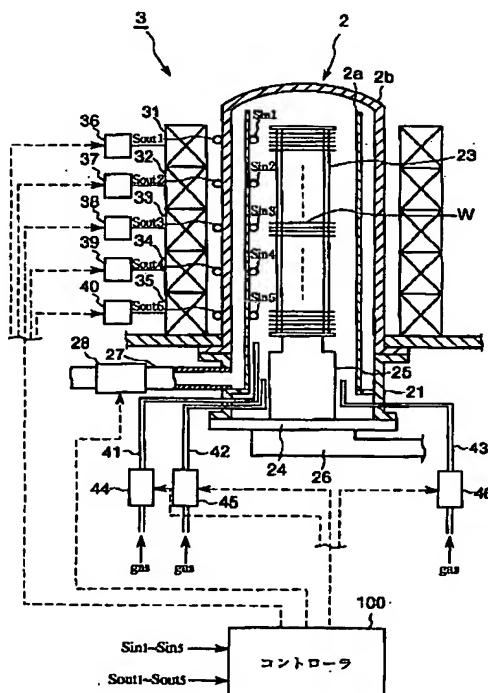
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 パッチ式熱処理装置及びその制御方法

(57)【要約】

【課題】 被処理体の温度を推定して、熱処理を行う熱処理装置において、正確な温度を推定する。

【解決手段】 反応管2は、ヒータ31～35と、温度センサS in1～S in5とS out1～S out5とを備え、ウェハポート23を収容する。制御部100は、温度センサS in1～S in5とS out1～S out5とヒータ31～35に対応する5つのゾーンのウェハWの温度と温度センサS in1～S in5の温度とを推定する。温度センサS in1～S in5の推定温度と実測温度との関係から、ゾーン別に推定温度と実測温度との関係を表す関数f1～f5を求める。関数f1～f5に、推定したウェハ温度を代入して、推定ウェハ温度を校正する。校正されたウェハ温度が目標温度軌道に収束するように、ヒータ31～35に供給する電力を個別に制御する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】複数のヒータと、複数の温度センサとを備え、内部に被処理体を収容する加熱炉と、

前記温度センサの出力から、前記加熱炉内の被処理体の温度と前記温度センサ自体の温度とを推定するためのモデルを記憶するメモリと、

前記温度センサの出力から、モデルを用いて、前記加熱炉内の被処理体の温度を推定する第1の温度推定部と、前記モデルを用いて前記温度センサ自体の温度を推定する第2の温度推定部と、

前記温度センサの出力が示す温度と、前記第2の温度推定部が推定した前記温度センサの温度とに基づいて、前記第1の温度推定部が推定した温度を校正する校正部と、

前記校正部により校正された温度に従って、前記複数のヒータを制御する制御手段と、を備える、ことを特徴とするバッチ式熱処理装置。

【請求項2】前記校正部は、前記第2の温度推定部が推定した温度と前記温度センサの出力が示す温度との関係を求める、この関係に、前記第1の温度推定部が推定した温度を適用することにより、第1の温度推定部が推定した温度を校正する手段を備える、ことを特徴とする請求項1に記載のバッチ式熱処理装置。

【請求項3】前記校正部は、前記第2の温度推定部が推定した温度を基準とした時の、前記温度センサが示す温度のオフセットを求め、該オフセットを加算するよう前記第1の温度推定部が推定した温度を校正する手段を備える、ことを特徴とする請求項1又は2に記載のバッチ式熱処理装置。

【請求項4】前記校正部は、前記第2の温度推定部が推定した温度に対する前記温度センサの実測値の倍率を求め、第1の温度推定部が推定した温度にこの倍率を乗算することにより、校正を行う。ことを特徴とする請求項1、2又は3に記載のバッチ式熱処理装置。

【請求項5】前記モデルは、前記温度センサの出力とさらに前記ヒータの電力とから前記加熱炉内の被処理体の温度と前記温度センサ自体の温度とを推定するためのモデルであり、

前記第1の温度推定部は、前記温度センサの出力と前記複数のヒータの電力とから、前記加熱炉内の被処理体の温度を推定し、

前記第2の温度推定部は、前記温度センサの出力と前記複数のヒータの電力とから、前記温度センサの温度を推定する、ことを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載のバッチ式熱処理装置。

【請求項6】前記モデルは、推定した被処理体の温度を目標値に近づけるために、ヒータを制御するためのモデルを含む、ことを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1項に記載のバッチ式熱処理装置。

【請求項7】前記制御手段は、被処理体に施すべき温度 50

変化を示すレシピを記憶するレシピ記憶手段を備え、前記被処理体の温度が前記レシピ記憶手段に記憶されたレシピに従って変化するように、前記モデルに基づいて、前記被処理体の温度を推定し、この推定値に従って前記ヒータを制御する、ことを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載のバッチ式熱処理装置。

【請求項8】前記レシピ記憶手段は、前記加熱炉内の、被処理体の配列方向の複数のゾーン別に、修正されたレシピを記憶し、

10 前記制御手段は、各ゾーンのレシピに従って前記ヒータを制御する、ことを特徴とする請求項7に記載のバッチ式熱処理装置。

【請求項9】前記制御手段は、校正手段が校正した推定ウェハ温度の組と前記複数のゾーンのレシピが指示する温度の組とのばらつきが最小となるように、前記ヒータを制御する、ことを特徴とする請求項8に記載のバッチ式熱処理装置。

【請求項10】複数のヒータと、複数の温度センサとを備え、内部に被処理体を収容する加熱炉を有するバッチ式熱処理装置の制御方法であって、

20 前記温度センサの出力から、前記加熱炉内の被処理体の温度と該温度センサ自体の温度を推定するためのモデルとを記憶し、前記温度センサの出力から、前記モデルを用いて、前記加熱炉内の被処理体の温度と前記温度センサ自体の温度とを推定し、前記温度センサの出力が示す温度と、前記モデルを用いて推定した温度センサの温度とを比較し、比較結果に従って、前記モデルを用いて、被処理体の推定温度を校正し、

校正された被処理体の推定温度に従って、前記複数のヒータを制御する、ことを特徴とするバッチ式熱処理装置の制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体ウェハ等の被処理体を多数枚一括して熱処理するバッチ式熱処理装置に関し、特に、収容している半導体ウェハの温度を推定し、推定結果に基づいて、最適な制御を行う適応制御型のバッチ式熱処理装置及びその制御方法に関する。

【0002】

【従来の技術】多数の半導体ウェハに対して成膜処理、酸化処理あるいは拡散処理などの熱処理を一括して行うバッチ式熱処理装置として、横型熱処理装置や縦型熱処理装置が知られており、最近では、大気の巻き込みが少ない等の理由から縦型熱処理装置が主流になりつつある。

【0003】図4は、縦型熱処理装置の外観を示す図であり、この装置は、縦型の加熱炉11と、ウェハ保持具であるウェハポート12とを備えている。加熱炉11

は、縦型の反応管の周囲にヒータを設けて構成され、ガス供給管11a及び排気管11bが接続されている。

【0004】ウエハポート12は、複数の支柱13を備え、各支柱13に形成された溝にウエハWの周縁部を支持することにより、被処理体である多数枚のウエハWが所定のピッチで棚状に保持されるように構成される。ウエハポート12は、多数枚のウエハWを保持した後に、ポートレベータにより加熱炉11の下方開口部を通じて加熱炉11内に搬入され、ウエハWに対して所定の熱処理が行われる。

【0005】このような熱処理装置の制御系においては、例えば、成膜すべき薄膜の種類、膜厚などに応じて、処理温度、処理圧力、ガス流量などの処理条件（処理パラメータの目標値）が決められており、これら処理条件を書き込んだレシピが複数用意されている。そして、各オペレータが薄膜の種類及び膜厚に応じたレシピを選択することにより、予め定められた処理条件に基づいて熱処理装置が運転される。

【0006】熱処理装置は、処理温度、処理圧力、ガス流量などの処理条件がレシピに定められた目標値に一致させるように制御しながら、処理を行う。これらの処理を適切に行うため、ウエハの温度、加熱炉内の圧力、ガス流量などを測定する必要がある。

【0007】加熱炉内の圧力は、圧力計により、ガス流量は、供給管に配置された流量計を含むマスフローコントローラ等により、比較的正確に測定が可能である。しかし、ウエハの温度については、測定が困難である。例えば、ウエハに温度センサを装着して加熱炉内に収納する手法も考えられるが、温度センサ装着箇所に半導体素子を形成することができず、さらに、加熱炉内全体を汚染し、半導体装置の歩留まりを低下させる虞がある。また、ウエハの周囲の雰囲気の温度を測定することも考えられるが、この手法では、ウエハの温度を正確に測定することができない。

【0008】これらの問題を解決できる技術が、例えば、米国特許第5,517,594号公報に開示されている。この技術は、加熱炉に複数の温度センサを配置し、この温度センサの出力と、ヒータへの供給電力などに基づいて、数字モデルを用いてウエハの温度を刻一刻と推定し、推定値を用いて、ヒータ電力を制御する技術である。この技術によれば、金属汚染などを引き起こすことなく、ウエハの温度を比較的正確に非接触で測定（推定）して、熱処理装置を制御することができる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】この技術によっても、例えば、実際の装置と数学モデルを作成する際に使用した装置や環境の差異、さらには、プロセスの差異等により、数学モデルにより推定（計算）される温度が実際の温度とずれてしまう場合がある。この場合には、誤ったウエハ温度に基づいてヒータ電力を制御することにな

り、所望の処理をウエハに施すことができない。

【0010】本発明は、このような事情の下に成されたものであり、数学モデルを用いて被処理体の温度を推定し、推定した温度に基づいて、熱処理を行う熱処理装置及びその制御方法において、正確な温度を推定可能とすることがある。また、本発明は、信頼性と歩留まりに優れた半導体装置を製造することができるバッチ式熱処理装置及びその制御方法を提供することを目的とする。

【0011】

10 【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、この発明の第1の観点に係るバッチ式熱処理装置は、複数のヒータと、複数の温度センサとを備え、内部に被処理体を収容する加熱炉と、前記温度センサの出力から、前記加熱炉内の被処理体の温度と前記温度センサ自体の温度とを推定するためのモデルを記憶するメモリと、前記温度センサの出力から、モデルを用いて、前記加熱炉内の被処理体の温度を推定する第1の温度推定部と、前記モデルを用いて前記温度センサ自体の温度を推定する第2の温度推定部と、前記温度センサの出力が示す温度と、前記第2の温度推定部が推定した前記温度センサの温度とを比較する比較部と、比較部の比較結果に従って、前記第1の温度推定部が推定した温度を校正する校正部と、前記校正部により校正された温度に従って、前記複数のヒータを制御する制御手段と、を備える、ことを特徴とする。

20 【0012】この発明によれば、温度センサの温度を実測すると共にモデルを用いて推定する。従って、推定した温度と実際の温度との関係を求めることができる。被処理体と温度センサとの温度の推定に、共通のモデルを使用することにより、温度センサの実測温度と推定温度との関係が、被処理体の実際の温度と推定温度との関係にもある程度同様に適用されうる。従って、この関係などを被処理体の推定温度に適用することなどにより、被処理体の推定温度を校正して、被処理体の温度をほぼ正確に求め、これを用いて、ヒータを制御することができる。

30 【0013】前記校正部は、例えば、前記第2の温度推定部が推定した温度と前記温度センサの出力が示す温度との関係 f を求め、この関係 f に、前記第1の温度推定部が推定した温度を適用することにより、第1の温度推定部が推定した温度を校正する手段を備える。具体的には、前記校正部は、例えば、前記第2の温度推定部が推定した温度を基準とした時の、前記温度センサが実測した温度のオフセット（例えば、オフセット = 実測温度 - 推定温度）を求める。第1の温度推定部が推定した被処理体の温度に該オフセットを加算することにより、校正を行う。或いは、前記校正部は、例えば、前記第2の温度推定部が推定した温度に対する前記温度センサの実測値の倍率 k ($k = \text{実測値} / \text{推定値}$) を求め、第1の温度推定部が推定した温度にこの倍率を乗算することにより、

校正を行う。

【0014】前記モデルは、例えば、推定した被処理体の温度を目標値に近づけるために、ヒータを制御するためのモデルを含む。

【0015】前記モデルは、例えば、前記温度センサの出力とさらに前記ヒータの電力とから前記加熱炉内の被処理体の温度と前記温度センサ自体の温度とを推定するためのモデルである。この場合、前記第1の温度推定部は、前記温度センサの出力と前記複数のヒータの電力とから、前記加熱炉内の被処理体の温度を推定し、前記第2の温度推定部は、前記温度センサの出力と前記複数のヒータの電力とから、前記温度センサの温度を推定する。

【0016】前記制御手段は、被処理体に施すべき温度変化を示すレシピを記憶するレシピ記憶手段を備え、前記被処理体の温度が前記レシピ記憶手段に記憶されたレシピに従って変化するように、前記モデルに基づいて、前記被処理体の温度を推定し、この推定値に従って前記ヒータを制御する。

【0017】前記レシピ記憶手段は、前記加熱炉内の、被処理体の配列方向の複数のゾーン別に、修正されたレシピを記憶し、前記制御手段は、各ゾーンのレシピに従って前記ヒータを制御する。

【0018】前記制御手段は、例えば、校正手段が校正した推定ウエハ温度の組と前記複数のゾーンのレシピが指示する温度の組とのばらつきが最小となるように、前記ヒータを制御する。

【0019】上記目的を達成するため、この発明の第2の観点に係るバッチ式熱処理装置の制御方法は、複数のヒータと、複数の温度センサとを備え、内部に被処理体を収容する加熱炉を有するバッチ式熱処理装置の制御方法であって、前記温度センサの出力から、前記加熱炉内の被処理体の温度と該温度センサ自体の温度を推定するためのモデルとを記憶し、前記温度センサの出力から、前記モデルを用いて、前記加熱炉内の被処理体の温度と前記温度センサ自体の温度とを推定し、前記温度センサの出力が示す温度と、前記モデルを用いて推定した温度センサの温度とを比較し、比較結果に従って、前記モデルを用いて、被処理体の推定温度を校正し、校正された被処理体の推定温度に従って、前記複数のヒータを制御する、ことを特徴とする。

【0020】

【発明の実施の形態】本発明のバッチ式熱処理装置を縦型熱処理装置に適用した実施の形態について説明する。この縦型熱処理装置は、図1に示すように、例えば、石英で作られた内管2a及び外管2bよりなる二重管構造の反応管2を備え、反応管2の下側には金属性の筒状のマニホールド21が設けられている。内管2aは上端が開口されており、マニホールド21に支持されている。外管2bは有天井に形成され、下端がマニホールド21

の上端に気密に接合されている。

【0021】反応管2内には、多数枚、例えば、150枚の被処理体を成すウエハW(製品ウエハ)が水平な状態で、上下に間隔をおいてウエハ保持具であるウエハポート23に棚状に配置されている。このウエハポート23は蓋体24の上に保温筒(断熱体)25を介して保持されている。

【0022】反応管2の周囲には、例えば、抵抗体より成るヒータ3が設けられている。ヒータ3は、5段に配置されたヒータ31～35から構成される。ヒータ31～35には、電力コントローラ36～40より、それぞれ独立して電力が供給される。反応管2、マニホールド21、ヒータ3により加熱炉が構成される。ヒータ31～35により、反応管内は、図3(a)に示すように5つのゾーンに分けられている。

【0023】また、マニホールド21には、内管2a内にガスを供給するように複数のガス供給管が設けられており、図1では、理解を容易にするため、3本のガス供給管41、42、43を示している。各ガス供給管41、42、43には、ガス流量を調整するためのマスフローコントローラ(MFC)などの流量調整部44、45、46を介してジクロルシラン、アンモニア、窒素がそれぞれ供給される。さらにマニホールド21には、内管2aと外管2bとの隙間から排気するように排気管27が接続されている。この排気管27は、図示しない真空ポンプに接続されている。排気管27には、反応管2内の圧力を調整するための、コンビネーションバルブ、バタフライバルブやバルブ駆動部などを含む圧力調整部28が設けられている。

【0024】内管2aの内面には、垂直方向に一列に5つの熱電対(温度センサ)S in1～S in5が配置されている。熱電対S in1～S in5は、半導体ウエハWの金属汚染を防止するため、例えば、石英のパイプ等によりカバーされており、図3(a)に示す5つのゾーンに対応してそれぞれ配置されている。

【0025】また、外管2bの外面には、垂直方向に一列に複数の熱電対(温度測定部)S out1～S out5が配置されている。熱電対S out1～S out5も、図3(a)に示す5つのゾーンに対応して、それぞれ配置されている。

【0026】この縦型熱処理装置は、反応管2内の処理雰囲気の温度、ガス流量、圧力といった処理パラメータを制御するための制御部100を備えている。この制御部100は、熱電対S in1～S in5とS out1～S out5の出力信号を取り込み、ヒータ31～35に接続された電力コントローラ36～40、圧力調整部28、流量調整部44～46に制御信号を出力する。

【0027】図2は、制御部100の構成を示す。図2に示すように、制御部100は、モデル記憶部111と、レシピ記憶部112と、ROM113と、RAM114と、I/Oポート115と、CPU116と、これ

らを相互に接続するバス117とから構成される。

【0028】モデル記憶部111には、モデルMが記憶されている。モデルMは、熱電対S in1～S in5とS out1～S out5の出力信号（測定温度）及びヒータ31～35への供給電力（ヒータ31～35に接続された電力コントローラ36～40への制御信号に対応）からウエハポート23に載置されている各ゾーンのウエハWの温度と熱電対S in1～S in5の温度を推定し、さらに、推定した温度を目標値に設定するためにヒータ31～35に供給すべき電力を指示するために設計されたモデル（数学モデル；高次・多次元関数）を記憶している。このモデルMは、例えば、温度帯域別に用意されている。

【0029】レシピ記憶部112には、この熱処理装置で実行される成膜処理の種類に応じて、制御手順を定めるレシピが複数種類記憶されている。各レシピは、図3(b)に示すような、ゾーン別に設定された温度レシピを含んでいる。

【0030】ROM113は、EEPROM、フラッシュメモリ、ハードディスクなどから構成され、CPU116の動作プログラム等を記憶する記録媒体である。RAM114は、CPU116のワークエリアなどとして機能する。I/Oポート115は、熱電対S in1～S in5及びS out1～S out5の測定信号をCPU116に供給すると共に、CPU116が出力する制御信号を各部へ出力する。また、I/Oポート115には、操作パネル118が接続されている。バス117は、各部の間で情報を伝達する。

【0031】CPU116は、DSPなどでもよく、ROM113に記憶された制御プログラムを実行し、操作パネル118からの指示に従って、レシピ記憶部112に記憶されているレシピに沿って、熱処理装置の動作を制御する。

【0032】具体的には、CPU116は、モデル記憶部111に記憶されているモデルMを読み出し、また、レシピ記憶部112に記憶されている複数のレシピの内から該当するものを選択して読み出す。そして、レシピに従って処理動作を実行する。

【0033】特に、この実施の形態においては、CPU116は、熱電対S in1～S in5及びS out1～S out5からの測定値及び電力コントローラ36～40への指示値（ヒータ31～35への供給電力の値）等を取り込んで、モデルMにより、ゾーン1～ゾーン5のウエハWの温度と熱電対S in1～S in5の温度を推定する。

【0034】さらに、熱電対S in1～S in5の推定温度T E sin1～T E sin5と熱電対S in1～S in5が実際に測定した温度（自己の温度）T R sin1～T R sin5とを比較し、両者の関係を求め、この関係を適用して、ウエハの推定温度T E w1～T E w5を校正する。そして、校正したウエハ温度T w1～T w5が、温度レシピが指示する値に一致するように、電力コントローラ36～40に、供給電

力を指示する。

【0035】また、CPU116は、通常の熱処理装置の制御と同様に、流量コントローラ44～46への指示、圧力調整部28への指示なども行う。

【0036】次に、上記構成のバッチ式熱処理装置による成膜処理について説明する。まず、ウエハポート23に、製品ウエハ（処理対象のウエハ）Wが載置される。このウエハポート23が反応管2内にロードされると、オペレータは、処理の開始を操作パネル118より指示する。CPU116は、指示に応答し、モデルMとレシピをモデル記憶部111とレシピ記憶部112からそれぞれ読み出す。

【0037】次に、読み出したレシピに従って、ヒータ3に通電して昇温を開始する。さらに、CPU116は、熱電対S in1～S in5及びS out1～S out5の出力信号、及びヒータ電力（電力コントローラ36～40への制御信号に対応）を、読み出したモデルMに適用し、上段（ゾーン1）、中上段（ゾーン2）、中段（ゾーン3）、中下段（ゾーン4）、下段（ゾーン5）の5つのゾーンのウエハの温度T E w1～T E w5と、熱電対S in1～S in5の温度T E sin1～T E sin5とを推定（計算）する。

【0038】CPU116は、推定した熱電対S in1～S in5の温度T E sin1～T E sin5と熱電対S in1～S in5の出力信号が示す温度（実測値）T R sin1～T R sin5とを比較し、比較結果に基づいて、ウエハの推定温度T E w1～T E w5を校正する。

【0039】校正手法は任意である。例えば、 $T R sinm = f_m (T E sinm)$ （但し、mは1, 2, 3, 4, 5）の関係が成立する関数f_mを求め、この関数f_m内のT E sinmとして、推定したウエハ温度T E w_mを代入し、f_m(T E w_m)を校正されたウエハ温度とすることが可能である。

【0040】具体的には、例えば、熱電対S in1～S in5の実測温度T R sin1～T R sin5が、推定温度T E sin1～T E sin5に、所定のオフセット値△offset1～△offset5を加算したような値である場合には、ウエハの推定温度T E w1～T E w5をT E w1+△offset1～T E w5+△offset5に修正して校正する。また、例えば、熱電対S in1～S in5の実測温度T R sin1～T R sin5が推定温度T E sin1～T E sin5に、所定の係数（倍率）k1～k5を乗算したような値である場合には、ウエハの推定温度T E w1～T E w5をk1～k5倍するように修正して校正する。

【0041】さらに、数式1に示すような関係が成立するような場合には、数式2に示すように、校正を行ってもよい。

$$【数1】 T R sinm = k_m \cdot T E sinm - \Delta offset_m$$

$$【数2】 T w_m = k_m \cdot T E w_m - \Delta offset_m$$

【0042】なお、係数k1～k5、オフセット△offset1～△offset5を求める手法は任意であり、例えば、ノイ

ズの影響を除去するために、 $TR \sin 1 \sim TE \sin 5$ 、及び $TE \sin 1 \sim TE \sin 5$ を積分して、係数 k やオフセット $\Delta offset$ を求めてよい。

【0043】次に、このようにして校正したウエハ温度が全体として温度レシピが設定している温度の組み合わせに最も近づくように、刻一刻とヒータ31～35に供給する電力を電力コントローラ36～40を介して制御する。即ち、校正したウエハ温度に基づいて、ウエハ温度を適応（アダプティブ）制御する。

【0044】例えば、時刻 t における5つのゾーンのウエハの校正済温度が $T_{wt1}, T_{wt2}, T_{wt3}, T_{wt4}, T_{wt5}$ であると計算され、レシピが指示する温度が $T_{t1}, T_{t2}, T_{t3}, T_{t4}, T_{t5}$ である場合には、校正済温度と目標温度（レシピ指示温度）との差が全体として最も小さくなるように制御が行われる。例えば、最小2乗法を用いて、 $(T_{wt1} - T_{t1})^2 + (T_{wt2} - T_{t2})^2 + (T_{wt3} - T_{t3})^2 + (T_{wt4} - T_{t4})^2 + (T_{wt5} - T_{t5})^2$ が最小になるように、ヒータ31～35に供給する電力を個々に制御する。

【0045】表現を変えれば、熱電対 $S_{in1} \sim S_{in5}$ 及び $S_{out1} \sim S_{out5}$ の出力信号及びヒータ31～35の電力に従って、各ゾーンのウエハWの温度を刻一刻と推測し、さらにこれを校正し、校正後のウエハ温度 $T_{w1} \sim T_{w5}$ が、予め定められているレシピが指定する温度となるよう5つのヒータ31～35を個別に適応制御（アダプティブ制御）する。

【0046】昇温が終了すると、各ゾーン（上段、中上段、中段、中下段、下段）の温度をそれぞれ一定に維持するように適応制御を続ける。温度レシピが、図3

（b）に示す軌道であるとすると、CPU116は、校正後のウエハ温度 $T_{w1} \sim T_{w5}$ が、上段（ゾーン1）が85.2°C、中上段（ゾーン2）が85.0°C、中段（ゾーン3）が84.9°C、中下段（ゾーン4）が84.8°C、下段（ゾーン5）が84.6°Cとなるように制御する。

【0047】反応管2内の温度が安定するのに十分な時間が経過すると、反応管2に処理ガスを供給し、成膜を開始する。成膜処理の間も、上段、中上段、中段、中下段、下段の各ゾーンのウエハWの温度が全体として温度レシピの設定温度に最も近づくように温度制御を行う。このため、上段、中上段、中段、中下段、下段の各ゾーンのウエハWは、見かけ上、異なる温度で成膜処理が成される。ただし、モデル及びレシピが、均一な膜が形成できるように調整された値（成膜ガスの濃度や、ウエハの処理枚数や配置のばらつきの影響などを、熱に換算して調整された値）であるので、面間及び面内で比較的均一な厚さの膜が成長する。

【0048】成膜が終了すると、成膜ガスの供給を停止して、反応管2内を冷却する。冷却時にも、必要に応じて、ウエハの温度を推定し、さらに、推定値を校正する。処理完了後、処理済のウエハポート23をアンロー

ドする。

【0049】このバッチ式熱処理装置では、制御部100内に、ウエハWの温度と温度センサ $S_{in1} \sim S_{in5}$ の温度とを推定するためのモデルとレシピが予め用意されている。従って、何らかの原因により、制御部100が推定するウエハ温度が実際の温度からずれてしまう場合でも、そのずれを校正して、校正済みのウエハ温度を用いて、適応制御により適切に成膜処理（熱処理）を行うことができる。この適応制御により、ヒータ3を適切に制御することができる。

【0050】また、膜厚が面間及び面内で均一となるように温度レシピがゾーン毎に調整されているので、ガスの流れ、ガス密度の分布、温度勾配等による膜厚の差の発生を抑えることができる。

【0051】また、 $\Delta offset1 \sim \Delta offset5$ の平均値 Δt_{ave} や係数 $k_1 \sim k_5$ の平均値 k_{ave} を求め、推測したウエハの温度 TE_{wm} を、例えば、 $k_{ave} \cdot TE_{wm} - \Delta t_{ave}$ に修正して校正してもよい。

【0052】次に、モデルとレシピの設計手法について、説明する。モデルは、熱電対 $S_{in1} \sim S_{in5}$ 及び $S_{out1} \sim S_{out5}$ の出力（測定値）及びヒータ31～35への供給電力などから、各ゾーンのウエハWの温度を推測し、さらに、推測した5つの温度を全体として目的温度に近接させるために、ヒータ31～35に供給する電力を特定可能な数学モデルであるならば任意のモデル（多変数、多次元、多出力関数）を利用可能である。このようなモデルとしては、例えば、米国特許第5,517,594号公報に開示されたモデルを使用することができる。

【0053】以下、米国特許第5,517,594号公報に開示されたモデルを例に説明する。まず、図1に示す熱処理装置に、中心と中心から例えば6mm離れた位置とに熱電対 S_{wc} と S_{we} を組み込んだ5枚のテスト用ウエハを用意する。次に、これらの5枚のテスト用ウエハが、図3（a）の5つのゾーンに1つずつ位置するように、テスト用ウエハと通常のウエハとをウエハポート23に載置する。次に、このウエハポート23を反応管2にロードする。次に、ヒータ31～35に高周波帯域の信号及び低周波帯域の信号を印加し、熱電対 $S_{in1} \sim S_{in5}$ 及び $S_{out1} \sim S_{out5}$ の出力、テスト用ウエハ上の熱電対 S_{wc} と S_{we} の出力（ウエハ温度）、ヒータに供給される電流などのデータを、例えば、1～5秒のサンプリング周期で取得する。

【0054】次に、一定の温度範囲、例えば400°C～1100°Cの範囲で、100°C間隔で温度帯域を設定する（広温度帯域を1つのモデルでカバーすると温度の推定などが不正確になってしまうため）。取得したデータから、各温度帯域について、数式3に示すARX（自動回帰）モデルを設定する。

$$\begin{aligned} [\text{数3}] y_t + AA_1 y_{t-1} + AA_2 y_{t-2} + \dots \\ + AA_n y_{t-n} = BB_1 u_{t-1} + BB_2 u_{t-2} \\ + \dots + BB_n u_{t-n} + e_t \end{aligned}$$

y_t : 時点 t での以下の内容を成分とする p 行 1 列のベクトル

内容 : 热電対 $S_{in1} \sim S_{in5}$ の出力の平衡温度 y_{bias} からの変動量 (この例では 5 成分)、热電対 $S_{out1} \sim S_{out5}$ の出力の平衡温度 y_{bias} からの変動量 (この例では 5 成分)、ウエハの中心部にセットした热電対 S_{wc} の出力の平衡温度 y_{bias} からの変動量 (この例では 5 つ)、ウエハの周縁部にセットした热電対 S_{we} の出力の平衡温度 y_{bias} からの変動量 (この例では 5 つ)。従って、この例では、 y_t は 20 行 1 列のベクトルとなる。

u_t : 時点 t でのヒータ電力平衡値 u_{bias} からの変動量*

$$A = \begin{bmatrix} -AA_1 & I_p & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \\ -AA_n & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} BB_1 \\ \vdots \\ BB_n \end{bmatrix}$$

$$Kf = \begin{bmatrix} -AA_1 \\ \vdots \\ -AA_n \end{bmatrix}$$

$$C = [I_p \cdots 0]$$

$AA_1 \cdots BB_n$ は、数式 3 の係数で、最小二乗法によって求められる

【0058】 ここから、热電対 ($S_{in1} \sim S_{in5}$, $S_{out1} \sim S_{out5}$)、温度 T_{thermo} 、ヒータ電力 u_t からウエハ温度を推測するモデルを求める。数式 3 の出力 y_t を測定可能部分 S_t (P_1 行 1 列) とウエハ温度 W_t (P_2 行 1 列) に分ける。それに応じて、 C を C_s と C_w に分割し、 y_{bias} を S_{bias} と W_{bias} に分割する。ウエハ温度モデルは数式 5 により計算される。

【0059】

$$\begin{aligned} [\text{数5}] X_{t+1} &= AX_t + BU_t + k_f e_t \\ S_t &= C_s X_t + [I_p, 0] e_t \end{aligned}$$

上式に対して適切なリカッチ方程式を解き、フィードバックゲイン L を求めると、ウエハ温度モデルは数式 6 で示すようになる。

【0060】

$$[\text{数6}] X_{t+1} = AX_t + B(U_t + u_{bias}) + L(T$$

* を成分とする m 行 1 列のベクトル (この例では、ヒータが 5 ゾーンのため、5 行 1 列)。

e_t : ホワイトノイズを成分とする m 行 1 列のベクトル。

n : 遅れ (例えば 8)。

$AA_1 \sim AA_n$: p 行 p 列の行列 (この例では、20 行 20 列)。

$BB_1 \sim BB_n$: p 行 m 列の行列 (この例では、20 行 5 列)。

10 【0056】 ここで、各係数 $AA_1 \sim AA_n$ と $BB_1 \sim BB_n$ を、最小二乗法などを用いて決定する。

【0057】 求められた ARX モデルを空間状態方程式で表現すると、数式 4 で示すようになる。

【数4】

$thermo - C_s X_t + S_{bias}) T_{model,t} = C_w X_t + W_{bias}$
ここで、 $T_{model,t}$ が予測ウエハ温度である。

【0061】 次に、テスト用ウエハを用いてウエハ温度を再度測定する。数式 6 に基づいて推定されたウエハ温度 T_{model} と実測値 T_{water} を比較し、モデルをチューニングする。このチューニング動作を必要に応じて複数回繰り返す。

【0062】 実際の成膜形の処理速度を向上するため、作成したモデルの次数を 10 次程低次元化し、熱処理装置に実装する。

【0063】 一方、CPU 116 の動作プログラムに関しては、温度の設定値から推測したウエハ温度の変動の時間平均を最小化するように動作を設定する。

【0064】 さらに、成膜処理の種類に応じて、各ゾーン内で均一な成膜が可能となるような温度目標軌道 T_{tr}

$a_j(t)$ 、すなわち、温度レシピを設計する。続いて、5つのゾーンが全てこの温度目標軌道を追従するように制御を行ってテスト的に成膜処理を実行する。処理後、成膜された膜の厚さを測定し、膜厚のばらつき等をチェックする。

【0065】例えば、上段のウエハの膜厚が下段のウエハの膜厚よりも小さい場合、直接的な原因は不明でも、上段の温度を相対的に上昇させることにより、膜厚をほぼ等しくすることができる。そこで、最小二乗法等を用いて、ばらつきが最も小さくなるように、温度目標軌道 $T_{traj}(t)$ を修正する。これが、図3 (b) に示すようなゾーン毎の温度レシピである。この温度レシピをさらにチューニングすることも可能である。

【0066】このようにして、ウエハの処理枚数及びその配置に応じて、ウエハの温度推定及びウエハ温度を目標温度とするための出力を定義するモデルと、レシピがそれぞれ設定され、モデル記憶部111とレシピ記憶部112に記憶される。

【0067】その後、実際の成膜時に、これらのモデル及びレシピは適宜選択されまた読み出されて制御に使用される。

【0068】以上、この発明の実施の形態に係るバッチ式の熱処理装置及びその適応制御方法、さらに、制御に使用するモデル及びレシピの設計手法を説明したが、この発明は上記実施の形態に限定されず種々の変形及び応用が可能である。例えば、上記実施の形態では、窒化膜形成用の熱CVD装置を例にこの発明を説明したが、処理の種類は任意であり、他種類の膜を形成するCVD装置、酸化装置、エッチャリング装置、等の様々なバッチ式熱処理装置に適用可能である。ただし、種類毎に、モデルとレシピを設計する。

【0069】また、機器構成や動作も上記実施の形態に限定されない。例えば、上記実施の形態では、ヒータの数を5つとし、反応管2内のゾーンを5つとしたが、ヒータの数や温度ゾーンの数は任意である。また、ヒータは、電気抵抗型のものに限定されず、ランプなどでもよい。また、温度を測定するための構成も熱電対に限定さ

れず、任意の温度センサを適用可能である。

【0070】また、モデルやその設計手法も、米国特許5,517,594に開示されたモデルやその設計手法に限定されるものではなく、任意のモデル及び任意の設計手法を採用可能である。また、全ての装置について、モデルを個々に設計するのは煩雑であり、同一仕様の熱処理装置について1つのモデル及び/又はレシピを作成し、これを装置毎に最適化処理することにより、モデル及びレシピを共通化してもよい。この方法によれば、モデルの作成とチューニングを効率よく行うことができる。

【0071】

【発明の効果】以上説明したように、この発明によれば、バッチ式の熱処理装置において、加熱炉内に処理枚数や配置が異なる被処理体が収容された場合でも、適切に処理を行うことが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施の形態に係る熱処理装置の構造を示す図である。

20 【図2】制御部の構成例を示すブロック図である。

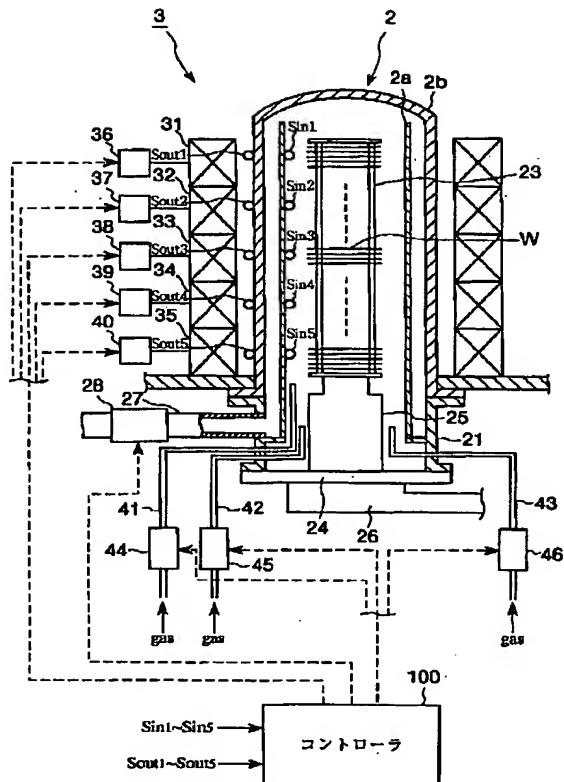
【図3】(a)は反応管内のゾーンを示し、(b)はゾーン別の目標温度軌道の例を示す図である。

【図4】従来の熱処理装置の構成図である。

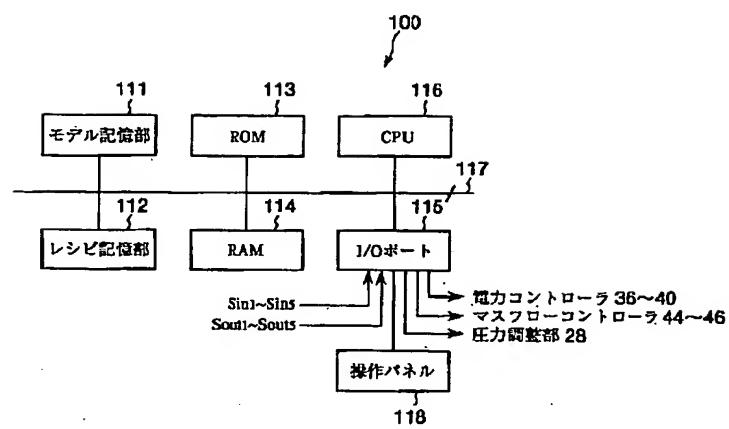
【符号の説明】

2	反応管
3	ヒータ
21	マニホールド
23	ウエハポート
24	蓋体
30 25	保温筒(断熱体)
31	上段ヒータ
32	上中断ヒータ
33	中段ヒータ
34	下中段ヒータ
35	下段ヒータ
36~40	電力コントローラ

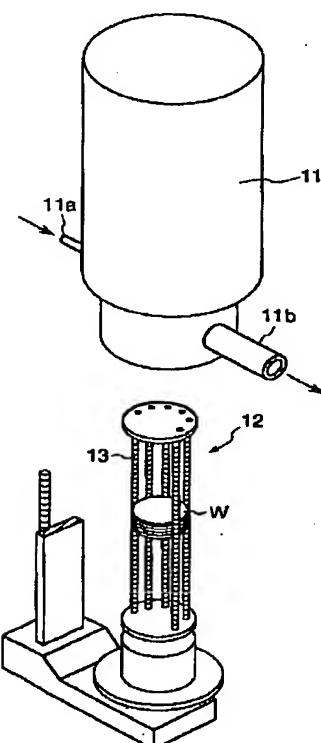
【図1】



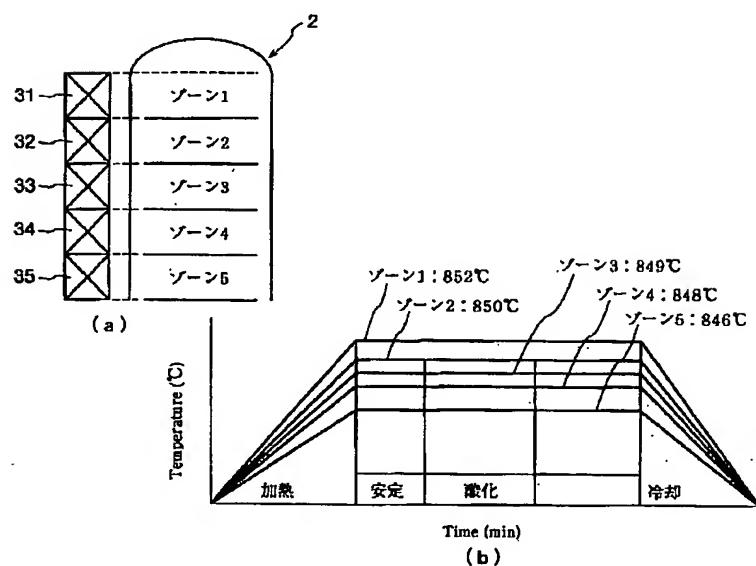
【図2】



【図4】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 鈴木 富士雄
神奈川県津久井郡城山町町屋1丁目2番41
号 東京エレクトロン東北株式会社相模事
業所内
(72)発明者 安原 もゆる
東京都港区赤坂五丁目3番6号 東京エレ
クトロン株式会社内

F ターム(参考) 4K056 AA09 BB03 CA10 FA04 FA13
4K061 AA01 BA09 CA08 DA05 FA07
GA02
5F045 AA03 AB33 AC03 AC12 AC15
DP19 DQ04 EK06 GB05 GB17
5H323 AA05 BB01 CA01 CB02 DA01
EE05 FF10 GG02 HH02 HH05
KK05 LL12 LL23